

Treball de Fi de Grau

## **Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials**

### **Disseny, construcció i programació d'un prototip autònom de carro capaç de seguir un usuari**

#### **MEMÒRIA I ANNEXOS**

**Autor:** Aniol Civit Bertran  
**Director:** Oriol Boix Aragonès  
**Convocatòria:** Abril 2018



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resum

Partint d'una estructura plana de metacrilat, rodes, motors, elements d'unió i components electrònics com ara microcontroladors, sensors d'ultrasons i altres, s'ha aconseguit dissenyar, construir i programar un prototipus de vehicle autònom que és capaç de seguir un dispositiu carregat per l'usuari tot evitant obstacles que es troben pel camí.

El vehicle es controla amb un PIC16F690 programat en llenguatge C, que és el més utilitzat per programar aquest tipus de microcontroladors.

Per fer-ho s'ha hagut d'utilitzar coneixements adquirits durant el grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials i també s'ha hagut d'estudiar amb profunditat i entendre el funcionament d'alguns components.

Aquesta memòria inclou la presa de decisions amb la seva justificació, la construcció i la programació del projecte així com la solució de problemes o inconvenients vistos durant tot el procés.



# Sumari

<b>Resum</b>	1
<b>Sumari</b>	3
<b>1. Introducció</b>	5
1.1. Motivació	5
1.2. Objectius	5
<b>2. Metodologia de detecció de la posició de l'usuari</b>	6
2.1. Idea principal	6
2.2. Estat actual	7
<b>3. Funcionament del carro</b>	8
<b>4. Microcontrolador</b>	9
4.1. PIC16F690	9
4.2. Interrupcions	12
4.4. Timer1	14
<b>5. Eines de programació</b>	16
5.1. Placa del PIC	16
5.2. PICKit2	17
5.3. MPLAB X IDE	18
5.4. Llenguatge C	19
<b>6. Components del prototip</b>	20
6.1. Comandament	20
6.1.1. Protoboard	21
6.1.2. Emissor d'infrarojos	21
6.1.3. Transistor L2N3904	21
6.2. Vehicle	23
6.2.1. Xassís	23
6.2.2. Rodes	24
6.2.3. Roda auxiliar	24
6.2.4. Motors	25
6.2.5. Piles i suport	25
6.2.6. Mòdul d'ultrasons HC-SR04	26
6.2.7. Driver per als motors L298N	28
6.2.8. Regulador de tensió 7805	29
6.2.9. Fototransistors receptors d'infrarojos	30

<b>7. Circuit electrònic</b>	32
<b>7.1. Comandament</b>	32
<b>7.2. Vehicle</b>	33
<b>8. Programa</b>	35
<b>8.1. Moviment motors</b>	35
<b>8.2. Emissor infraroig</b>	36
<b>8.3. Receptor infraroig</b>	36
<b>8.4. Detecció ultrasons</b>	37
<b>9. Muntatge</b>	38
<b>9.1 Comandament</b>	38
<b>9.2 Vehicle</b>	38
<b>10. Pressupost</b>	40
<b>11. Futures millores</b>	42
<b>12. Impacte social</b>	44
<b>Conclusions</b>	45
<b>Agraïments</b>	46
<b>Bibliografia</b>	47
<b>Annexos</b>	49

# 1. Introducció

## 1.1. Motivació

Actualment el món de la robòtica està en un punt àlgid d'explotació i investigació, això provoca que sorgeixin idees innovadores i, el més important, possibles. Existeixen molts tipus de robots que treballen en diferents àmbits, com per exemple robots que treballen a l'aire lliure i d'altres que treballen a interior d'edificis. Vista aquesta versatilitat s'ha vist que es pot construir un robot multi-àmbit que tingui la funció de seguir un usuari durant el temps que aquest vulgui tot facilitant la càrrega i/o transport d'objectes.

L'aplicació principal és fer que aquest vehicle carregui un pes que l'usuari no pot carregar, com ara que el vehicle porti la compra d'una persona gran, material d'obra pesat que s'ha de traslladar, maletes als hotels o als aeroports, material de qualsevol magatzem per evitar lesions dels empleats i moltes aplicacions més.

És un projecte de molta utilitat pràctica i també altruista que pot millorar la qualitat de vida de molta gent, personalment hi ha molta motivació en complir l'objectiu del projecte.

La idea va sorgir durant el curs de l'assignatura optativa "La robòtica a l'enginyeria". L'autor del treball es va adonar que hi havia molts tipus de robots però un de molt útil i relativament senzill d'aconseguir faltava per fabricar, per tant a partir del simple fet de les ganes d'aconseguir fer un "robot" amb la funció desitjada i el fet de voler cursar el Màster d'Automàtica i Robòtica a l'ETSEIB es va decidir realitzar aquest projecte.

S'ha de remarcar que en aquest treball no es fa un robot, ja que no té una intel·ligència artificial complexa ni altres característiques pròpies dels robots.

## 1.2. Objectius

L'objectiu principal del projecte és aconseguir que el vehicle, de manera autònoma, segueixi, tot evitant els obstacles, un usuari que portarà una polsera, turmellera o comandament que emetrà un senyal d'infrarojos.

Per tal d'aconseguir-ho també s'haurà de conèixer el funcionament de tots els elements que componen el vehicle i la programació del microcontrolador incorporat, juntament amb la justificació de l'ús de cada element i la solució de problemes o inconvenients sorgits durant el projecte.

## 2. Metodologia de detecció de la posició de l'usuari

Per determinar electrònicament la distància d'un objecte a un altre es poden utilitzar dos mètodes [Igoe, 2011]:

- Mesurar el temps de viatge d'un senyal des d'una posició coneguda.
- Mesurar la intensitat del senyal que arriba.

Aquestes tècniques de determinació de distància es poden classificar com actives o passives:

- Actives: L'objectiu té una ràdio, llum o font acústica incorporada i el receptor llegeix el senyal que li arriba directament de l'objectiu.
- Passives: L'objectiu no ha de dur tecnologia extra incorporada per detectar-lo. L'emissor i el receptor estan incorporats en el mateix sistema de detecció de distància, s'utilitza la reflexió del senyal que s'emet per determinar distàncies.

### 2.1. Idea principal

En aquest treball com que el que es vol és conèixer la posició exacta d'un usuari a temps real, la idea principal tractava d'utilitzar un emissor d'ultrasons. El vehicle autònom havia de portar incorporat un receptor d'ultrasons per determinar la distància i dos (o més) addicionals per determinar l'orientació del senyal. També es volia fer ús d'un emissor i receptors d'infrarojos, ja que aquests serveixen per determinar amb exactitud i en temps real la posició relativa usuari-vehicle. D'aquesta manera es pot calcular la distància amb exactitud, tenint en compte que la llum arriba gairebé instantàniament i que el senyal d'ultrasons tardarà uns instants, s'utilitza aquest temps per determinar una distància orientativa.

Aquest mètode és el més precís en temps real, ja que altres com per exemple el senyal GPS no són precisos (te un marge d'error de metres i no funciona en recintes tancats) i amb altres sistemes no es pot determinar l'orientació, sinó simplement la distància.

Un inconvenient de l'ús d'ultrasons és, en entorns tancats, la reflexió del senyal en alguna paret, ja que això pot afectar la lectura i fer que el vehicle es desviï de la seva trajectòria.

## 2.2. Estat actual

Per detectar la posició de l'usuari, o de la polsera o turmellera que portarà, s'ha optat per utilitzar només emissors i receptors d'infrarojos. S'ha descartat els sensors d'ultrasons per la detecció de la posició per problemes durant les proves.

El que porta l'usuari tindrà un emissor d'infrarojos que, per aquest prototip, emetrà un senyal constant.

En canvi, el receptor durà cinc receptors d'infrarojos envoltant un ampli rang d'espai, així doncs es podrà detectar la posició de l'usuari fins gairebé uns cent quinze graus per cada banda respecte la línia de simetria del vehicle, això implica gairebé uns dos-cents trenta graus en tot l'espai. El que no vigila el vehicle és el del seu darrere ja que no es considera que l'usuari pugui estar darrere sempre i quant no sigui a l'inici de la trajectòria.

Amb aquesta modificació no serà factible calcular la distància ja que amb un senyal d'infrarojos només es pot identificar la posició relativa usuari-vehicle en el moment que es detecta senyal.



### 3. Funcionament del carro

L'usuari disposarà d'un comandament que es podrà dur a la mà o lligat a alguna part del cos. Aquest portarà incorporat un microcontrolador per controlar els senyals que envia i un emissor d'infrarojos juntament amb tot el circuit electrònic necessari per al seu correcte funcionament.

El comandament donarà un senyal d'infrarojos constant per facilitar que el vehicle el detecti, en aquest moment, depenent de quin receptor el detecti, és a dir, d'on es trobi el comandament respecte el vehicle, el vehicle realitzarà una funció o una altra. Si li ve el senyal dels costats aquest girarà, en canvi si li ve el senyal per davant el vehicle anirà cap endavant.

A part d'això, el vehicle disposarà d'un sensor d'ultrasons per evitar, pel camí, col·lisions amb obstacles.

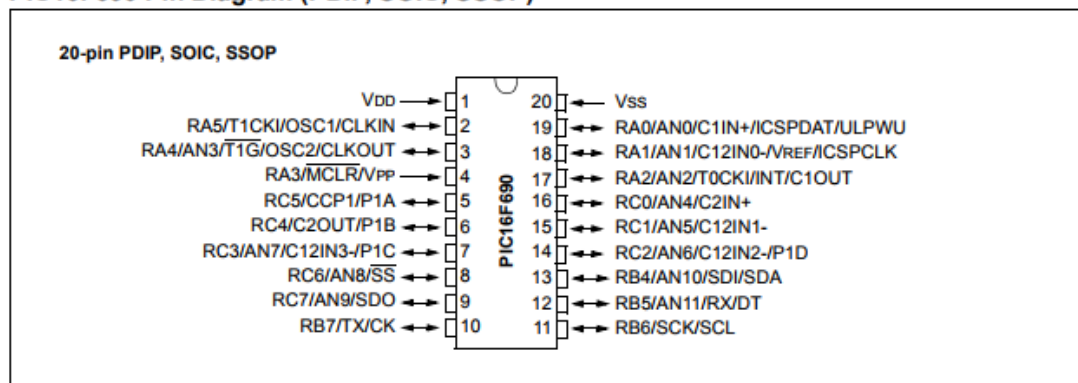
## 4. Microcontrolador

Per aquest projecte, degut a les poques operacions matemàtiques a realitzar i la poca precisió d'aquestes, s'utilitzarà un microcontrolador de vuit bits, en concret el **PIC16F690** perquè té un ús pràctic i senzill i ja s'ha realitzat altres projectes amb aquest microcontrolador, per tant hi haurà menys problemes per desconeixement del seu funcionament.

### 4.1. PIC16F690

És un microcontrolador de l'empresa Microchip el qual té les següents característiques més rellevants: Consta de vint potes (Il·lustració 1), dues de les quals son d'alimentació, divuit d'entrada digital, disset de sortida digital, dotze d'entrades analògiques, quatre de sortides PWM, té 4 kB de memòria programa i 256 bytes de memòria de dades (més 256 de memòria EEPROM de dades).

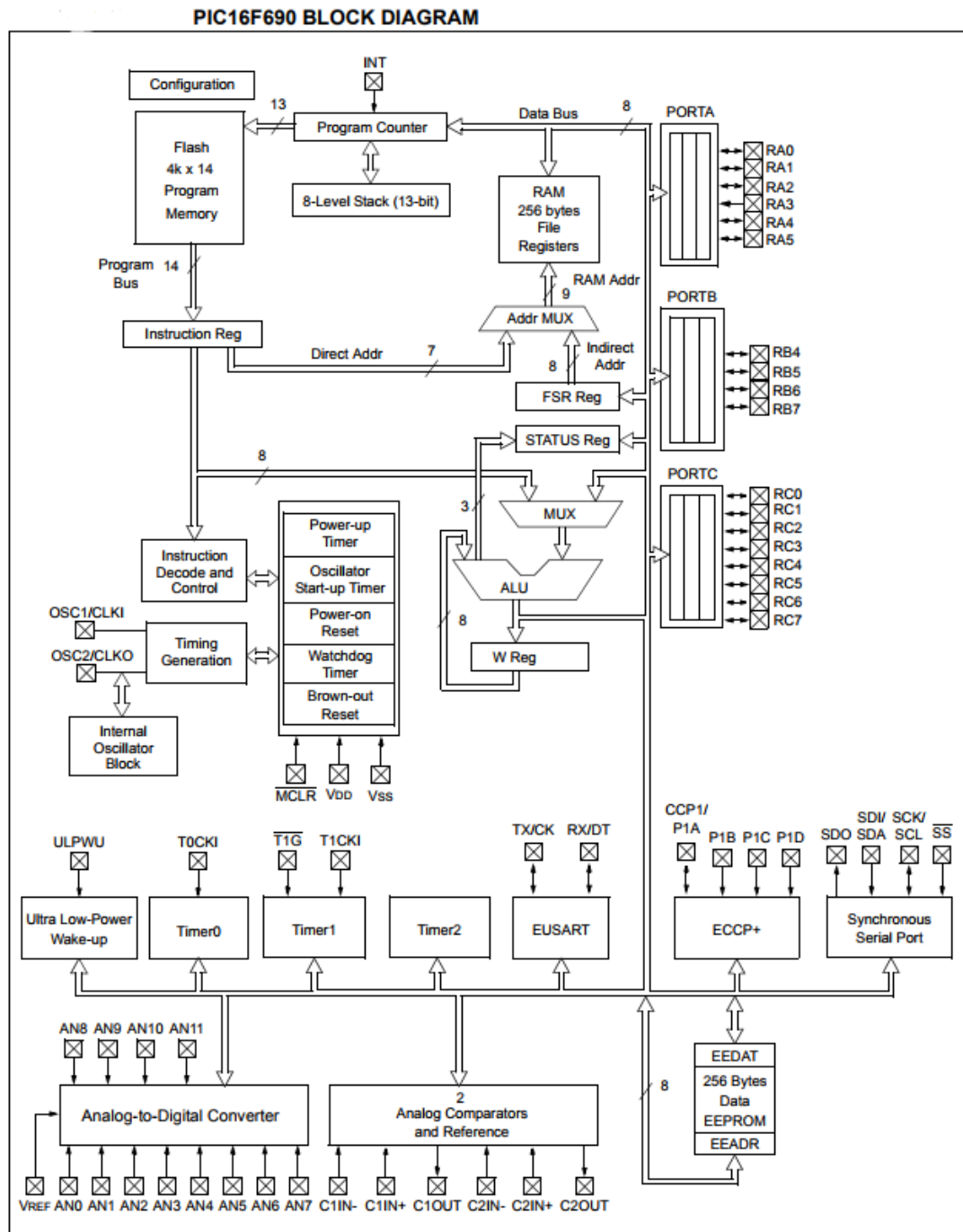
**PIC16F690 Pin Diagram (PDIP, SOIC, SSOP)**



*Il·lustració 1. Diagrama de pins del PIC16F690 [Microchip]*

La il·lustració 2 mostra el diagrama de blocs del microcontrolador, això permet entendre el funcionament d'aquest i la interacció entre els seus elements.

La il·lustració 3 representa els registres de la memòria de dades del microcontrolador, com s'observa la memòria està separada en quatre bancs.



Il·lustració 2. Diagrama de blocs del PIC16F690 [Microchip]

PIC16F690 SPECIAL FUNCTION REGISTERS

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. <sup>(1)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h	PORTA	105h	TRISA	185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h	PORTC	107h	TRISC	187h
	08h		88h		108h		188h
	09h		89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDAT	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2 <sup>(1)</sup>	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh		18Eh
TMR1H	0Fh	OSCCON	8Fh	EEADRH	10Fh		18Fh
T1CON	10h	OSCTUNE	90h		110h		190h
TMR2	11h		91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD <sup>(2)</sup>	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h	WPUA	95h	WPUB	115h		195h
CCPR1H	16h	IOCA	96h	IOCB	116h		196h
CCP1CON	17h	WDTCON	97h		117h		197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h	VRCON	118h		198h
TXREG	19h	SPBRG	99h	CM1CON0	119h		199h
RCREG	1Ah	SPBRGH	9Ah	CM2CON0	11Ah		19Ah
	1Bh	BAUDCTL	9Bh	CM2CON1	11Bh		19Bh
PWM1CON	1Ch		9Ch		11Ch		19Ch
ECCPAS	1Dh		9Dh		11Dh	PSTRCON	19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh	ANSEL	11Eh	SRCON	19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh	ANSELH	11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register  96 Bytes		General Purpose Register  80 Bytes		General Purpose Register  80 Bytes			
		accesses		accesses		accesses	
	7Fh	70h-7Fh	FFh	70h-7Fh	17Fh	70h-7Fh	1FFh
Bank 0		Bank 1		Bank 2		Bank 3	

Unimplemented data memory locations, read as '0'.

**Note 1:** Not a physical register.  
**2:** Address 93h also accesses the SSP Mask (SSPMASK) register under certain conditions. See Registers 13-2 and 13-3 for more details.

Il·lustració 3. Registres del PIC16F690 separats en bancs [Microchip]

Les adreces que tenen el nom en majúscules són els registres interns de funcionament i configuració del microcontrolador. Els que estan al final de cada columna són els que contindran les variables que s'utilitzaran en el programa.

## 4.2. Interrupcions

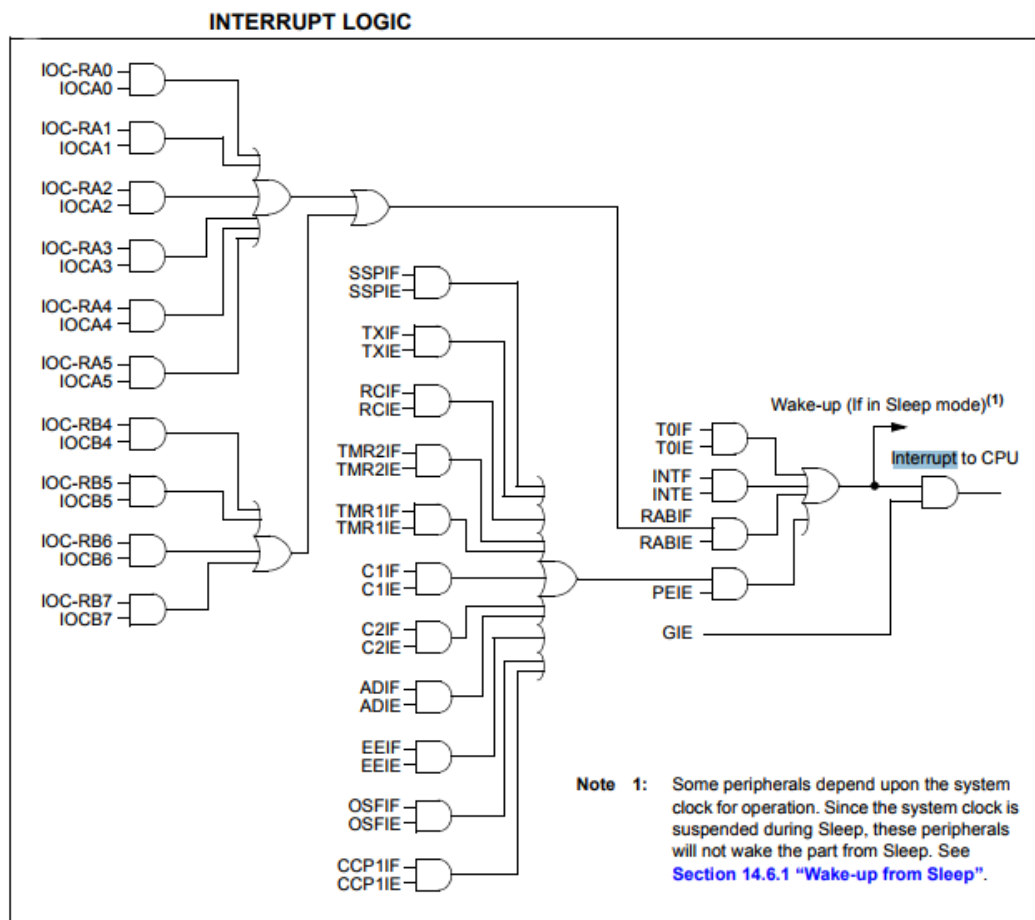
Una interrupció indica, mitjançant un hardware dedicat, un succés ocorregut al hardware o software d'un microcontrolador. Aquesta provoca una ruptura de la seqüència d'instruccions que el microcontrolador realitza. Així doncs, la CPU passa a executar una rutina especial de tractament d'aquest esdeveniment.

La unitat de control del microcontrolador s'encarrega de consultar si existeixen interrupcions després d'executar cada instrucció. En cas d'haver-n'hi, el microcontrolador guarda a la pila l'adreça de l'última instrucció executada i passa a executar la subrutina de tractament de la interrupció.

Aquestes son les diferents fonts d'interrupció del microcontrolador PIC16F690:

- Interrupció per desbordament de Timer0, Timer1 i Timer2
- Interrupció A/D
- Interrupció d'escriptura de dades a l'EEPROM
- Interrupció *Fail-Safe Clock Monitor*
- Interrupció externa RA2/INT
- Canvi d'estat al PORTA o al PORTB
- I altres interrupcions per elements de hardware externs.

En aquest projecte s'han utilitzat les interrupcions RABIF, ja que s'activen quan detecten un canvi en l'entrada d'una pota dels ports A o B, amb això ja es pot detectar si arriba o deixa d'arribar un senyal d'ultrasons. Per activar-les s'ha d'activar tant les interrupcions generals GIE, com les pròpies interrupcions RABIF juntament amb el pin adient d'un registre IOCA o IOCB respectivament. Per exemple, si es vol mirar l'entrada RA5, s'ha d'activar IOCA5. S'ha de vigilar amb aquest tipus d'interrupcions, ja que per poder desactivar la bandera s'ha de llegir l'entrada, si no es llegeix pot ser que la bandera no es desactivi. També s'utilitzen les interrupcions T0IF per controlar la velocitat dels motors utilitzant un PWM programat.



*Il·lustració 4. Esquema lògic de les interrupcions del PIC16F690 [Microchip]*

La il·lustració 4 representa la lògica interna del microcontrolador per al procés d'interrupcions.

### 4.3. Timer0

El Timer0 és un comptador de 8 bits. Quan s'utilitza com a temporitzador, pren la sortida del rellotge del microcontrolador i la divideix per un factor d'escala prèviament configurat, mitjançant el registre OPTION\_REG, per incrementar el registre TMR0. Del registre OPTION\_REG, els tres bits de la dreta indiquen el factor d'escala que divideix el rellotge.

Quan el registre TMR0 arriba a zero, és a dir, un cop incrementat 256 vegades fa que s'activi un bit d'un altre registre, concretament el T0IF del registre INTCON. Es pot llegir manualment el bit T0IF o directament quan s'activi que faci una interrupció.

Quan s'activa una interrupció s'ha de desactivar el T0IF mitjançant el programa per tal que hi pugui haver més interrupcions. Quan es detecta la interrupció es pot tractar mitjançant el programa per fer les operacions adients. Per utilitzar-lo com una interrupció s'ha d'activar el bit T0IE del registre INTCON juntament amb el bit GIE del mateix registre, que activa globalment les interrupcions.

Els bits del registre OPTION\_REG en ordre del 0 al 7 s'utilitzen per:

*Taula 1. Bits de configuració del Timer0*

Bit	Utilització
Del 0 al 2 (PS)	Factor d'escala (f.e.) del Timer0, 000 seria $\frac{1}{2}$ , 001 seria $\frac{1}{4}$ , etc.
3 (PSA)	Ús del factor d'escala, 0 per al Timer0 i 1 per al Watchdog.
4 (T0SE)	Control extern de Timer0: 0 a l'activar T0CKI i 1 al desactivar.
5 (T0CS)	Relloige del Timer0: 0 si depèn del rellotge intern i 1 si es controla externament.
6 (INTEDG)	Control d'interrupció a RA2: 0 al desactivar i 1 a l'activar.
7 (RABPU negat)	Resistències pull-up dels ports A i B: amb 1 es poden controlar a WPUA i WPUB i amb 0 estan inhabilitades.

Cal tenir en compte que la freqüència per defecte del microcontrolador utilitzat és de 4 MHz i el temporitzador s'incrementa depenent del factor d'escala, un factor d'escala  $\frac{1}{2}$  és cada 2 microsegons, un factor d'escala  $\frac{1}{4}$  és cada 4 microsegons, etc.

En aquest treball s'utilitza el Timer0 per calcular el temps de gir del vehicle de manera precisa perquè el vehicle s'orienti cap endavant sense girar gaire més del compte.

#### 4.4. Timer1

El Timer1 és un comptador de 16 bits que quan funciona com a temporitzador amb rellotge intern té el mateix funcionament que el Timer0 però enlloc d'incrementar TMR0 incrementa TMR1. En aquest cas, al ser de 16 bits, es separa en TMR1L i TMR1H. Quan el registre arriba a 0, és a dir, que incrementa un 65535, s'activa el bit TMR1IF del registre PIR1.

La configuració del Timer1 es fa al registre T1CON, on els bits 4 i 5 indiquen el factor d'escala pel que es divideix el rellotge.

Les funcions dels bits de T1CON són les següents:

*Taula 2. Bits de configuració del Timer1*

Bit	Utilització
0 (TMR1ON)	Marxa del Timer1: mentre és 1 el Timer1 compta.
1 (TMR1CS)	Selecció del rellotge del Timer1: 0 per treballar amb rellotge intern.
2 (T1SYNC negat)	Control de la sincronització del Timer1: No es fa servir amb rellotge intern.
3 (T1OSCEN)	Activa el rellotge extern del Timer1: No es fa servir amb rellotge intern.
4 i 5 (PS)	Factor d'escala del Timer1.
6 (TMR1GE)	Control auxiliar del Timer1: No es fa servir si es treballa amb el control principal.
7 (T1GINV)	Timer1 sensible al flanc de pujada o baixada: No és gaire útil amb el rellotge intern.

De la mateixa manera que amb el Timer0, es pot consultar manualment el bit TMR1IF o es pot fer que a la que s'activi faci una interrupció, per això cal activar el bit TMR1IE del registre PIE1, juntament amb el bit GIE del registre INTCON (que és el bit que activa les interrupcions globals).

En aquest projecte, el Timer1 s'utilitza per calcular la distància del vehicle amb un obstacle per aturar-lo en cas de que estigui massa prop d'aquest.

També existeix el Timer2, però aquest no s'utilitza en aquest projecte.

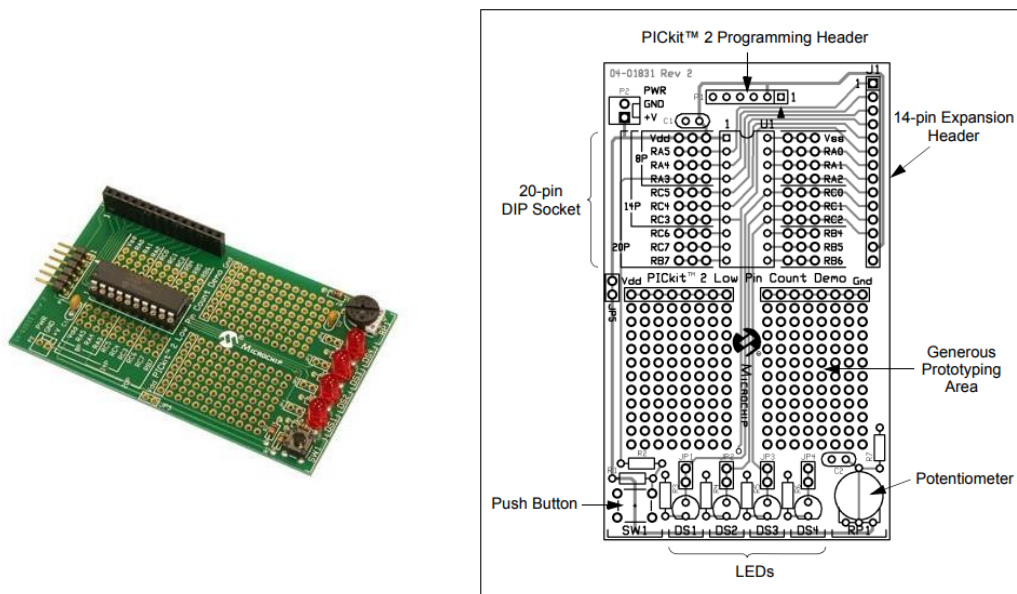


## 5. Eines de programació

Per tal de programar el microcontrolador i fer les proves adients per aconseguir un programa que compleixi els requisits del projecte s'han utilitzat els següents components. Aquests són els que s'utilitzen per connectar el microcontrolador amb l'ordinador per poder passar-li el programa.

### 5.1. Placa del PIC

La placa del PICKit 2 utilitzada porta un microcontrolador PIC16F690 juntament amb quatre LED, un pulsador, un potenciòmetre i un connector per al terminal de programació. La placa porta incorporats els circuits interns juntament amb forats metal·litzats i un connector per fer ampliacions. Aquesta placa (il·lustració 5) s'ha utilitzat per realitzar experiments de programació amb elements externs abans de crear i soldar el circuit definitiu.



*Il·lustració 5. A l'esquerra una imatge de la placa del PIC16F690<sup>1</sup>. A la dreta l'esquema amb els components i noms d'aquests [Microchip]*

De les vint potes, n'hi ha unes quantes que són emprades pels elements de la placa:

- RC0, RC1, RC2 i RC3 s'utilitzen per als LED

<sup>1</sup> Font: <https://www.todoelectronica.com/es/pickit2dboard-placa-de-demo-pickit2-p-10067.html>

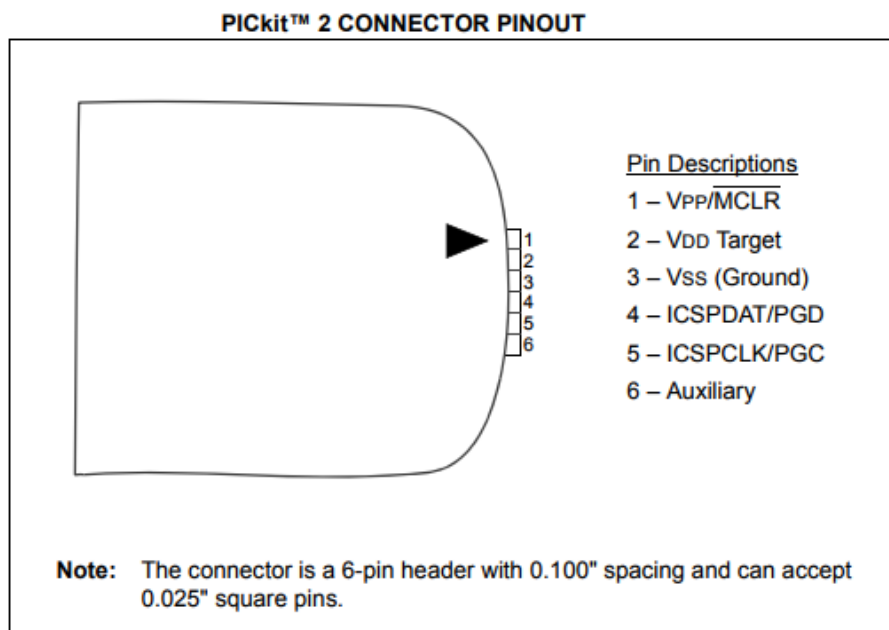
- RA0 s'utilitza per al potenciòmetre
- RA3 s'utilitza per al polsador, és sempre 1 i quan es prem el polsador és 0.
- RA0, RA1, RA3 i RA4 s'utilitzen per a la programació

## 5.2. PICkit2

És un dispositiu hardware (fet per Microchip) que forma part de la família de programadors per als microcontroladors PIC. S'utilitza per passar el programa del software MPLAB X IDE al microcontrolador mitjançant un port USB. Té capacitat d'escriure sobre la memòria flash del microcontrolador i també està preparat per suportar possibles sobretensions i curtcircuits.



Il·lustració 6. Imatge del programador PICkit2<sup>2</sup>



Il·lustració 7. Connexió dels pins del PICkit2 amb el PIC16F690 [Microchip]

<sup>2</sup> Font: <https://au.rs-online.com/web/p/processor-microcontroller-development-kits/0381582/>

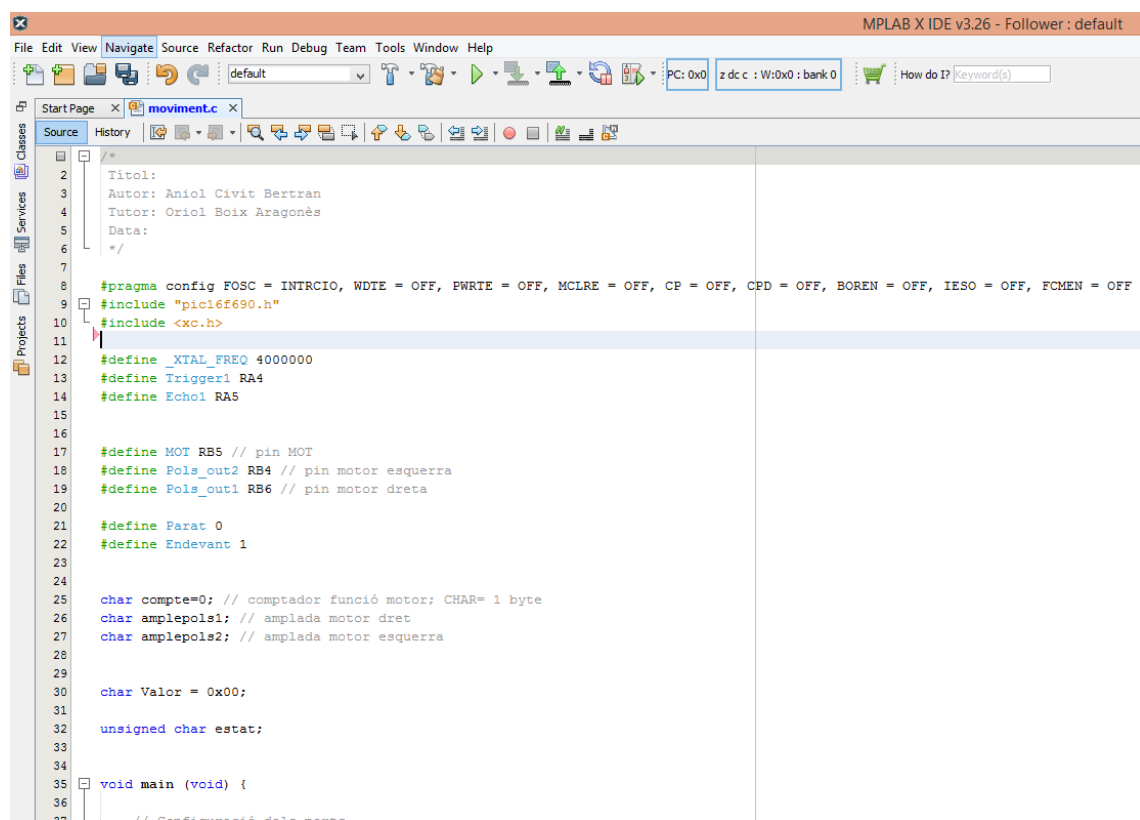
A la il·lustració 7 es pot apreciar els pins del dispositiu de hardware PICkit2 i la seva connexió amb les potes del microcontrolador.

### 5.3. MPLAB X IDE

És un software gratuït dedicat al desenvolupament d'aplicacions per a microcontroladors de l'empresa Microchip.

Per tal de preparar el programa en llenguatge C i enviar-lo al microcontrolador s'ha hagut d'instal·lar el compilador de C anomenat XC8, que es troba a la pròpia pàgina de Microchip.

En aquest software es crea el projecte on es decideix quin tipus de projecte és, quin microcontrolador s'utilitza així com el compilador i el programador.



```

MPLAB X IDE v3.26 - Follower : default
File Edit View Navigate Source Refactor Run Debug Team Tools Window Help
default
PC: 0x0 z dc c : W:0x0 : bank 0 How do I? Keyword(s)
Start Page x moviment.c x
Source History
Classes
Services
Files
Projects
2
3 Titol:
4 Autor: Aniol Civit Bertran
5 Tutor: Oriol Boix Aragonès
6 Data:
7 */
8
9 #pragma config FOSC = INTRCIO, WDTE = OFF, PWRTE = OFF, MCLRE = OFF, CP = OFF, CPD = OFF, BOREN = OFF, IESO = OFF, FCMEN = OFF
10 #include "pic16f690.h"
11 #include <xc.h>
12
13 #define _XTAL_FREQ 4000000
14 #define Trigger1 RA4
15 #define Echo1 RA5
16
17 #define MOT RB5 // pin MOT
18 #define Pals_out2 RB4 // pin motor esquerra
19 #define Pals_out1 RB6 // pin motor dreta
20
21 #define Parat 0
22 #define Endavant 1
23
24
25 char compte=0; // comptador funció motor; CHAR= 1 byte
26 char amplepals1; // amplada motor dret
27 char amplepals2; // amplada motor esquerra
28
29
30 char Valor = 0x00;
31
32 unsigned char estat;
33
34
35 void main (void) {
36
37 // Configuració dels pins

```

Il·lustració 8. Interfície del programari MPLAB X IDE [Captura de pantalla del programa]

Un aspecte positiu d'aquest software és que et deixa tenir més d'un projecte obert a la vegada i es pot decidir quin passes al microcontrolador mitjançant el PICkit2, així s'ha pogut treballar diferents parts del vehicle independentment. Específicament, s'ha programat el moviment dels motors, l'emissió i la recepció d'ultrasons i l'emissió i la recepció d'infrarojos per separat. Totes aquestes parts independents s'han ajuntat per crear el programa definitiu.

#### 5.4. Llenguatge C

Tenint en compte que també es pot programar els microcontroladors en llenguatge Assemblador, es va decidir fer una comparació d'avantatges i inconvenients.

L'assemblador és un llenguatge que permet optimitzar millor el funcionament del microcontrolador pel que fa a la velocitat i memòria d'aquest. En canvi el llenguatge C no és tant òptim però la seva estructura permet fer un molt millor manteniment del codi a mesura que s'ha de canviar coses o innovar o renovar.

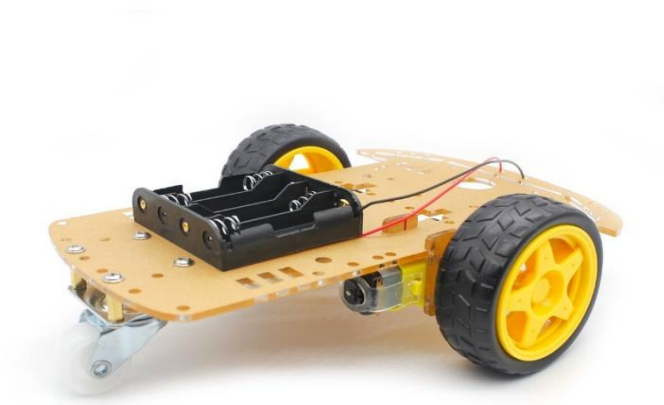
Citant les paraules d'un professor de l'ETSEIB de l'assignatura "*Desenvolupament d'aplicacions basades en microcontroladors*": un bon programa en assemblador és millor que un programa mal fet en C, però un mal programa en assemblador és molt pitjor que un programa ben fet en C.

El microcontrolador utilitzat en aquest projecte s'ha programat en C, ja que és un llenguatge relativament senzill i més conegut, per l'autor, que l'assemblador.

## 6. Components del prototip

Per al prototip del vehicle s'ha utilitzat un model simple, econòmic i pràctic per poder desenvolupar de manera senzilla tot el projecte, incloent el circuit electrònic i la programació. Per això s'ha construït un vehicle de dues rodes motoritzades i una de suport al terra adaptable a la direcció que marquen les altres dues.

El xassís del vehicle és una estructura de metacrilat transparent, utilitzat ja anteriorment en altres assignatures, amb forats a l'interior per col·locar i fixar components com els motors, les rodes i altres. Les peces alienes a l'estructura del vehicle s'afegeixen utilitzant altres peces de metacrilat i cargols i femelles.



*Il·lustració 9. Imatge de l'estructura del vehicle muntat<sup>3</sup>*

### 6.1. Comandament

El comandament ha de ser un estri que sigui fàcil d'agafar o de col·locar al canell o al turmell. Per això ha de ser relativament lleuger i de dimensions petites i, una característica a la que se li dona bastanta importància avui dia, còmode.

---

<sup>3</sup> Font: [https://www.amazon.es/gp/product/B072ZWRM2B/ref=oh\\_aui\\_detailpage\\_o03\\_s00?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.es/gp/product/B072ZWRM2B/ref=oh_aui_detailpage_o03_s00?ie=UTF8&psc=1)

### 6.1.1. Protoboard

Degut a la creació d'un prototip i no d'un model final, s'ha considerat realitzar el circuit a sobre d'un protoboard per facilitar la modificació d'aquest. També s'utilitza un protoboard per al circuit del prototip de vehicle.

### 6.1.2. Emissor d'infrarojos

L'emissor utilitzat és el LD271, encapsulat com un LED fosc de 5 mm. Aquest admet un corrent de treball de 50 mA. La longitud d'ona que emet és de  $950 \pm 20$  nm i s'ha de tenir en compte que el receptor treballi amb la mateixa longitud d'ona, sinó el sistema no funcionaria.



*Il·lustració 10. Emissor d'infrarojos LD271 [OndaRadio]*

### 6.1.3. Transistor L2N3904

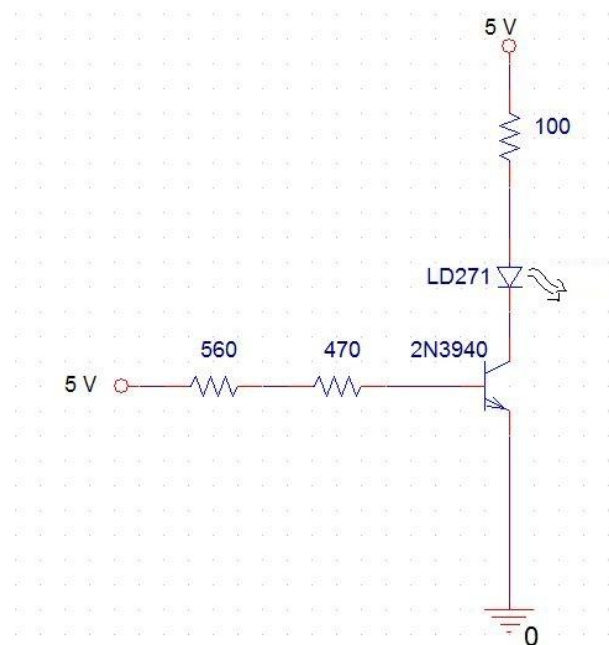
L'emissor d'infrarojos treballa amb un corrent de 50 mA però la sortida del microcontrolador dóna un corrent màxim de 20 mA. Això provoca que el raig infraroig sigui dèbil i que només es detecti a una distància d'uns 20 cm. Per ampliar aquest rang s'ha d'augmentar el corrent que passa per l'emissor.

Per això es necessita un transistor juntament amb un conjunt de resistències adequades perquè per al LED hi passin els 50 mA aproximadament, per aquest rang d'intensitat s'utilitza el transistor 2N3904 que és un transistor NPN.



*Il·lustració 11. Transistor L2N3904 [Amazon]*

El circuit resultant és el següent:



*Il·lustració 12. Esquema de l'emissor d'infrarojos*

Aquesta modificació amplia considerablement el rang de detecció dels infrarojos, s'ha passat d'un rang d'uns vint centímetres a un rang d'uns dos metres.

El càlcul de la intensitat que circula per l'emissor d'infrarojos es troba a l'apartat 1 de l'Annex.

## 6.2. Vehicle

Degut a que les dimensions del vehicle son fixes, la resta de components s'haurà d'escollir de manera adequada al model.

### 6.2.1. Xassís

La base del xassís està feta d'una placa de metacrilat amb forats per afegir-hi la resta d'elements. Té quatre pestanyes de metacrilat per collar els motors juntament dos cargols per a cada motor i dues femelles per a cada cargol. Les dues rodes motrius van encaixades als motors a pressió.

La part superior del xassís és una placa plana de cartró amb forats fets per encaixar amb la part inferior, s'utilitza per afegir els elements que no hi caben a la part inferior.

També incorpora un suport per a les piles amb els cargols i femelles corresponents per aguantar-ho i una roda lliure que va davant el vehicle per donar estabilitat.

Es va decidir utilitzar aquest model per la seva facilitat i senzillesa a l'hora del muntatge, també per la seva accessibilitat econòmica.



*Il·lustració 13. Xassís del vehicle amb les seves dimensions i cargols i femelles [Amazon]*



### 6.2.2. Rodes

Les rodes del prototip venien juntament amb el xassís, els motors i els components per ajuntar-ho tot.

Pel que fa a les propietats mecàniques, s'observa que les rodes son lleugeres, robustes i tenen una bona adherència amb el terra, per tant són adients per aquest projecte.

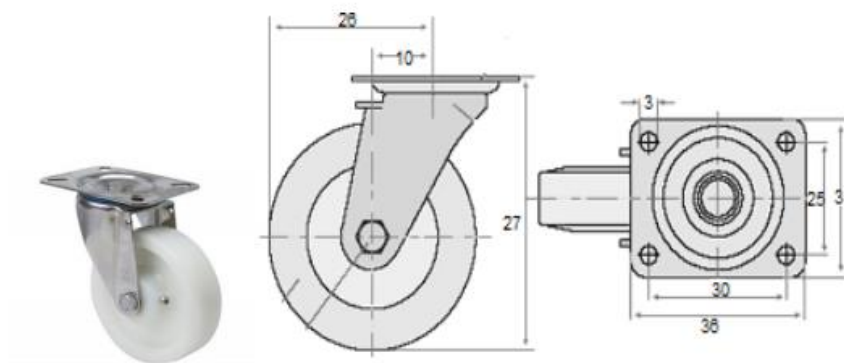
Un cop fetes les proves amb el programa el resultat és que no donen cap inconvenient en el moviment per excés de parell motor.



*Il·lustració 14. Rodes del vehicle [Amazon]*

### 6.2.3. Roda auxiliar

És una roda de recolzament perquè el vehicle s'estabilitzi tenint tres punts tocant a terra formant un pla. La roda està agafada per un element que gira respecte un eix principal, això dóna direcció a la roda. Està a la mateixa alçada que les rodes motrius, així doncs la plataforma del vehicle està paral·lela al terra. Les propietats d'aquesta roda giratòria auxiliar fan que vehicles de qualsevol mida i pes siguin fàcils de dirigir. Permet canvis de direcció i assegura la maniobrabilitat inclús en espais reduïts. Un inconvenient és que és una roda més petita que les de tracció, llisa i sense pneumàtic, per tant no és útil si la superfície on es recolza és rugosa.



*Il·lustració 15. Roda auxiliar del vehicle [Rodríguez, 2015]*

#### 6.2.4. Motors

Els dos motors que s'utilitzen en aquest projecte estan connectats directament a la roda mitjançant una extensió que surt de la pròpia carcassa del motor, que és per on s'introdueix la roda. Dins aquesta carcassa hi ha un sistema d'engranatges que redueixen la velocitat de gir del motor i proporcionen més parell per fer girar les rodes.

El parell amb el que el motor gira és proporcional al corrent que circula pels conductors.



*Il·lustració 16. Motor de les rodes del vehicle [Amazon]*

#### 6.2.5. Piles i suport

Per alimentar directament el mòdul L298N (apartat 6.2.7.) que és el que controla els motors s'han utilitzat quatre piles d'1,5 V en sèrie, que donen un voltatge resultant de 6 V. Aquestes es col·loquen en un suport que ja porta plaques metàl·liques que fa que al col·locar les piles estiguin en sèrie. També inclou dos cables, el positiu i el negatiu.



*Il·lustració 17. Suport de piles de 1,5 V<sup>4</sup>*

Tant pel comandament com per al vehicle s'utilitzen piles de 9 V amb un regulador de tensió (apartat 6.2.8.) per alimentar els circuits corresponents.

#### **6.2.6. Mòdul d'ultrasons HC-SR04**

Per la detecció de l'usuari i les possibles col·lisions del vehicle amb aquest o obstacles de l'entorn s'ha optat per utilitzar el sensor d'ultrasons HC-SR04 atès que ja s'havia treballat prèviament amb aquest i, per tant, ja es coneix el seu funcionament; a part que compleix les condicions necessàries per realitzar el projecte, és a dir, no es necessita menys o més rang del que el sensor està capacitat.

El sensor detecta objectes que estiguin a una distància d'entre 20 i 4000 mm, amb una precisió de 3 mm.

Disposa de quatre potes:

- Alimentació a 5 V
- *Trigger* (senyal de sortida): L'encarregat d'enviar un senyal
- *Echo* (senyal d'entrada): L'encarregat de rebre el rebot del senyal
- Terra (*Ground*)

Té un transmissor i un receptor d'ultrasons, marcats amb una T i amb una R, respectivament.

---

<sup>4</sup> Font: <https://createc3d.com/shop/es/mas-componentes/646-soporte-para-baterias-pilas-4-x-aa.html>

El microcontrolador ha d'enviar un senyal en forma de pols activant *Trigger* durant 10 µs. Al fer-ho el transmissor envia una ràfega de vuit polsos de 40 kHz i aquesta la rep el receptor. Al rebre el senyal, el sensor genera un pols de 5 V que s'envia al microcontrolador per la pota *Echo*.



*Il·lustració 18. Pla frontal del sensor d'ultrasons HC-SR04 amb visualització dels seus pins [Amazon]*

Per calcular el temps de senyal s'utilitza el registre TMR1 del Timer1. Es fixa un valor al TMR1 que fa aturar el vehicle al trobar-se un obstacle a uns 11,5 cm.

Aquestes són les equacions per calcular la distància entre el vehicle i un obstacle:

$$t_r = TMR1 \cdot \frac{1}{\frac{f_o}{4} \cdot \frac{1}{p}} \quad (Eq. 1)$$

On  $t_r$  és el temps de retorn del senyal d'ultrasons,  $f_o$  és la freqüència d'oscil·lació del microcontrolador i  $p$  és el prescalador establert a la configuració del Timer1.

$$D = \frac{v_s \cdot t_r}{2} \quad (Eq. 2)$$

On  $v_s$  és la velocitat del so a l'aire i  $D$  és la distància entre el sensor d'ultrasons i l'obstacle.

En el càlcul del temps de retorn del senyal d'ultrasons (Equació 1) s'ha de tenir en compte la freqüència d'oscil·lació del microcontrolador, segons el *datasheet* del PIC16F690 per defecte és de 4 MHz, per ajustar la freqüència s'ha d'utilitzar un prescalador que s'adjudica amb el registre T1CON. També s'ha d'adjudicar el valor TMR1 del període de la màquina.

Un cop calculat el temps es calcula la distància entre el sensor (vehicle) i l'obstacle detectat fent servir l'equació 2. Aquest càlcul és relativament senzill ja que només s'ha de tenir en compte la velocitat de propagació dels ultrasons multiplicant pel temps que ha tardat el senyal en ser detectat pel receptor i dividir tot això per dos ja que el temps que tarda en detectar-lo és el temps que tarda el senyal en anar i tornar del vehicle, és a dir, fa dos viatges.

El valor de T1CON és de 00110001, aquest adjudica un factor d'escala d'1/8.

### 6.2.7. Driver per als motors L298N

Aquest mòdul és un circuit integrat que consta d'un controlador en doble pont H. La funció d'aquest mòdul és amplificar el corrent que ve del microcontrolador. Això permet controlar la velocitat i la direcció dels dos motors DC.

El mòdul està dissenyat per controlar dos motors, té quatre entrades i quatre sortides per al control dels motors, per tant, dues entrades i sortides per cada motor. Per cada motor també té una pota per controlar la velocitat i dues potes per determinar el sentit de gir d'aquest.

També té una entrada d'alimentació, aquesta pot ser de 6 V a 35 V tenint en compte si s'activa la funció de pont o no, aquesta funció s'utilitza per fer servir la sortida de 5 V del mòdul. Es pot utilitzar sempre que el voltatge d'entrada sigui superior a 12 V.

Les funcions de cada una de les potes del mòdul (il·lustració 19) són:

1. Positiu motor 1
2. Negatiu motor 1
3. Pont per a 12 V –S'ha d'eliminar si s'utilitza un voltatge superior a 12 V. Això permet utilitzar la sortida 6 de 5 V
4. Entrada positiva d'alimentació (és on es connecta el positiu del conjunt de piles)
5. Terra (GND)
6. 5 V de sortida si es té posat el pont
7. Activa o desactiva el motor 1, és on es connecta el PWM
8. IN1, per controlar direcció de gir del motor 1 juntament amb IN2
9. IN2, per controlar direcció de gir del motor 1 juntament amb IN1
10. IN3, per controlar direcció de gir del motor 2 juntament amb IN4

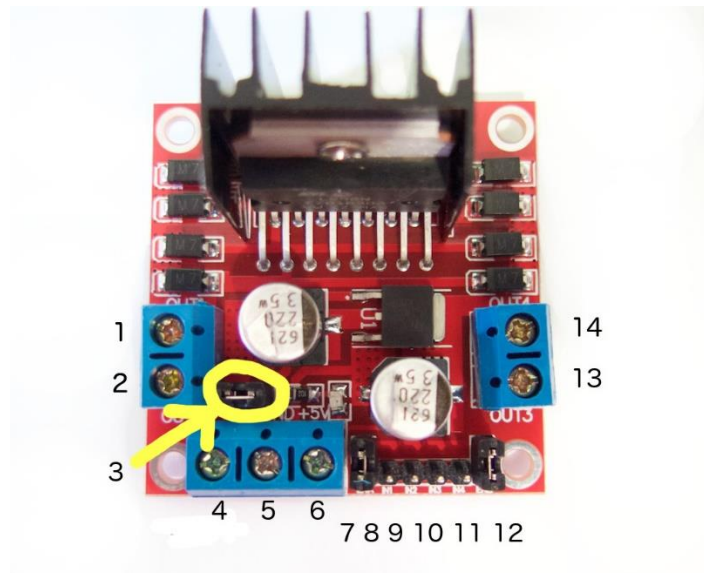
11. IN4, per controlar direcció de gir del motor 2 juntament amb IN3

Per al control del gir de cada motor, un IN ha de ser 0 i l'altre 1 i girarà en un sentit, si es canvia girarà en sentit contrari

12. Activa o desactiva el motor 2, és on es connecta el PWM

13. Positiu motor 2

14. Negatiu motor 2

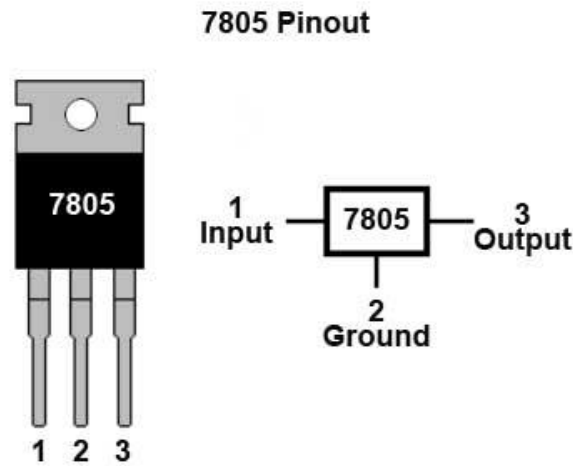


*Il·lustració 19. Driver L298N amb enumeració de les seves entrades i sortides [Boxall, 2014]*

### 6.2.8. Regulador de tensió 7805

Ja que el vehicle és autònom, i també ho és l'element emissor que portarà l'usuari, ambdós s'hauran d'alimentar d'una manera externa aliena al PICkit. Per això en un inici es farà servir piles de 9 V. L'inconvenient és que hi ha elements electrònics que s'utilitzen que no suporten aquesta tensió, per això s'haurà de passar dels 9 V a 5 V.

El regulador adient per a aquesta finalitat és el  $\mu$ A7805C, ja que aquest dona directament una tensió de sortida de 5 V. Aquest consta de tres pins de connexió, un per a l'entrada de 9 V, un per la sortida de 5 V i l'últim que és per connectar el dispositiu al terra.



*Il·lustració 20. Regulador de tensió 7805 amb pins i indicació d'aquests <sup>5</sup>*

Aquest regulador converteix una tensió d'entre 7 V i 25 V a una de 5 V aproximadament (entre 4,8 V i 5,2 V). El corrent màxim és d'1,5 A.

També s'utilitza un regulador per al comandament.

### 6.2.9. Fototransistors receptors d'infrarojos

El receptor o fototransistor utilitzat és el L-53P3C, encapsulat com un LED de 5 mm de diàmetre, també treballa a 5 V però admet un corrent mínim de 0,7 mA, sent 3 mA el corrent òptim per al funcionament. La longitud d'ona de treball és de 940 nm aproximadament, per tant està aparellat amb l'emissor i poden treballar conjuntament. El seu rang de recepció d'infrarojos és de 30°.

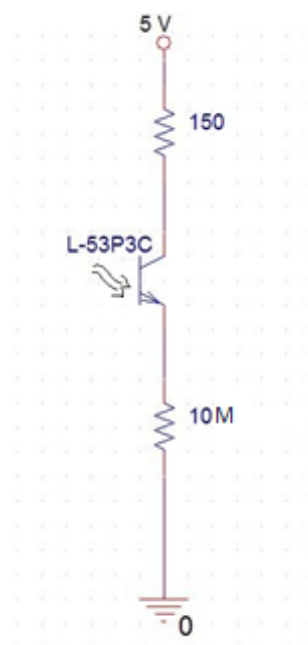
Quan el fototransistor detecta llum infraroja deixa passar corrent per ell i per tant la lectura dona 0, altrament donaria 1. Entenent 0 com a 0 V i 1 com a 5 V.

Per al seu correcte funcionament es munta un circuit amb dues resistències, una de 150  $\Omega$  entre el positiu i el fototransistor per protegir-lo i l'altra de 10 M $\Omega$  que s'han determinat experimentalment per tal que funcionés correctament. El circuit resultant per cada receptor d'infrarojos és el de la il·lustració 22.

<sup>5</sup> Font: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/regulador-de-voltaje-7805/>



Il·lustració 21. Fototransistor receptor d'infrarojos L-53P3C [Transfer Multisort Elektronik]

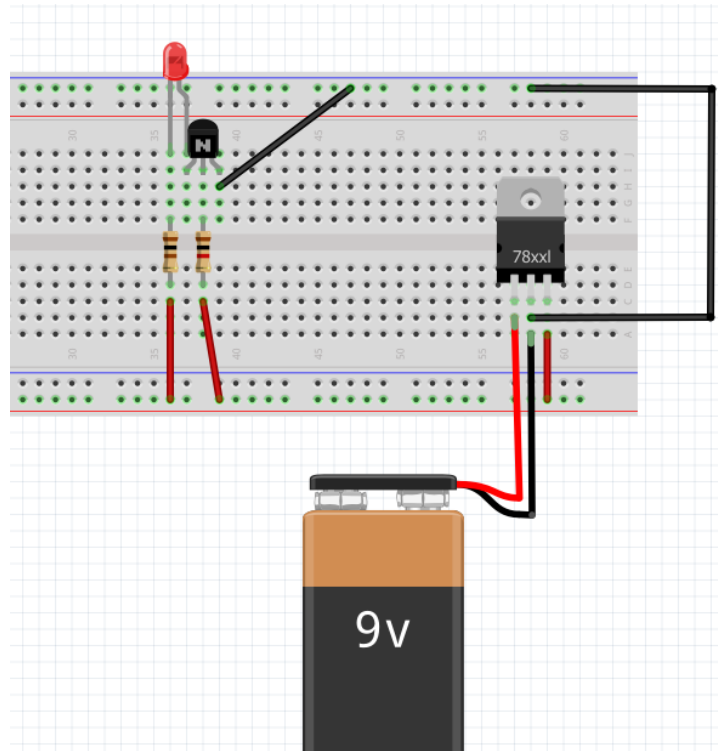


Il·lustració 22. Esquema d'un fototransistor receptor de llum infraroja, les unitats corresponen a ohms



## 7. Circuit electrònic

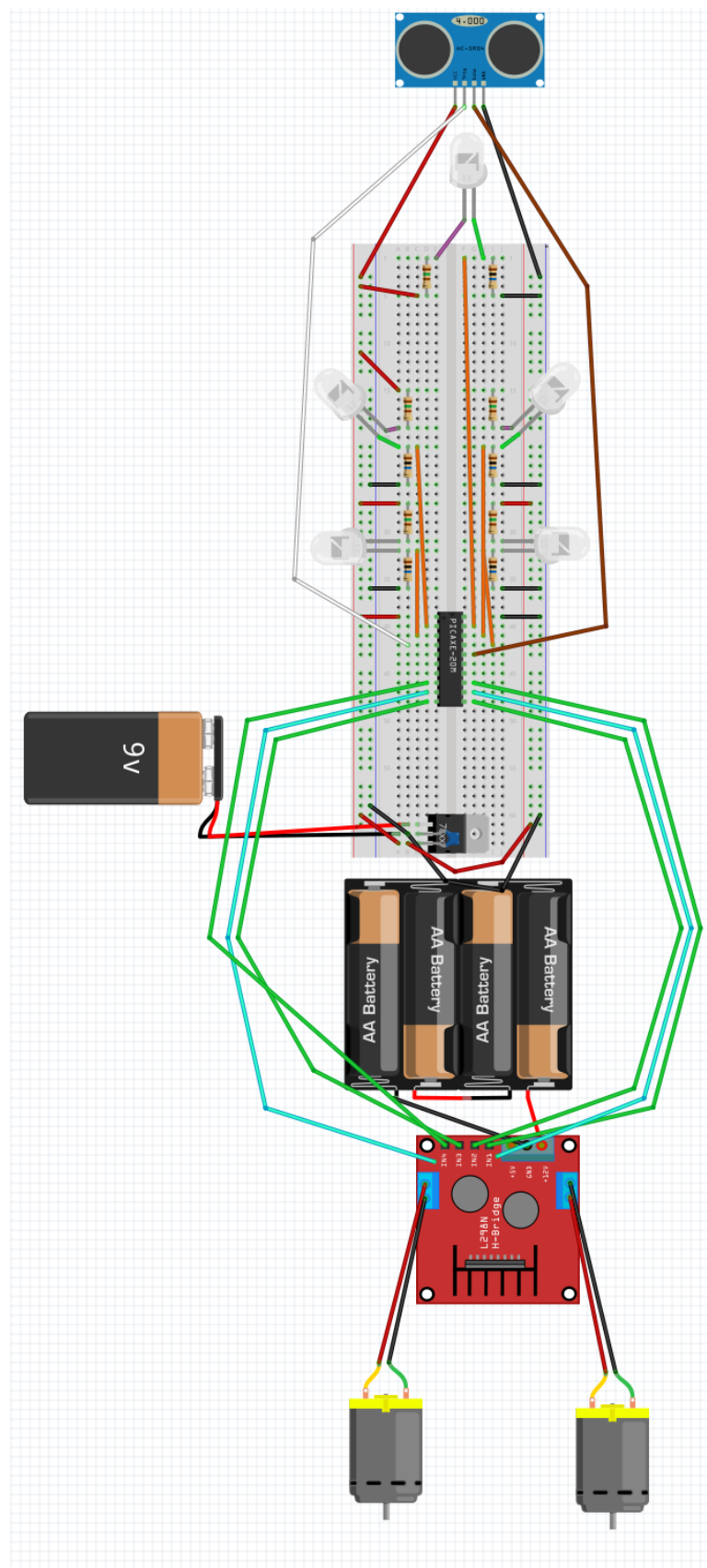
### 7.1. Comandament



*Il·lustració 23. Esquema del circuit del comandament [Realitzat amb Fritzing]*

El muntatge definitiu del comandament del prototip consta de l'alimentació directa de l'emissor d'infrarojos. S'utilitza la pila de 9 V i un regulador que transforma la tensió de 9 V a una de 5 V. Aquesta tensió s'utilitza per alimentar la pota positiva de l'emissor d'infrarojos (encapsulat vermell) i també el transistor 2N3904.

## 7.2. Vehicle



Il·lustració 24. Esquema del circuit del vehicle [Realitzat amb Fritzing]

El circuit del vehicle està separat en dues parts, la primera és la part de detecció de llum infraroja i el sensor d'ultrasons i l'altra la del moviment dels motors.

Mitjançant una pila de 9 V i un regulador que passa aquesta tensió a una de 5 V s'alimenta el microcontrolador PIC16F690. El protoboard porta els cinc receptors d'infrarojos juntament amb les resistències corresponents necessàries per al seu correcte funcionament, aquests són alimentats amb la tensió que surt del regulador, també hi ha connectat el sensor d'ultrasons.

De la pota negativa de cada receptor d'infrarojos surt un cable (de color taronja a l'esquema) que va directament a una pota del microcontrolador, aquesta es configura com a pota d'entrada per detectar si pel transistor hi passa corrent o no. També té una pota d'entrada per a la recepció d'ultrasons i una de sortida per a l'enviament d'aquests. Si el vehicle detecta, amb el sensor d'ultrasons, un obstacle relativament a prop, s'aturarà.

Depenent de quina pota s'activi, és a dir, quina pota detecti que circula corrent degut al receptor d'infrarojos, el vehicle realitzarà una acció determinada o una altra. El microcontrolador, utilitzant unes potes com a sortida, controla els motors. Com es pot observar a la il·lustració 24 el microcontrolador, per la part de sota, utilitza tres potes per cada banda, cada banda és per controlar un motor. D'aquestes tres potes dues (les de color verd) són per determinar el sentit de gir del motor i l'altra (de color blau) és per determinar la velocitat de gir.

La banda esquerra del microcontrolador controla el motor esquerra mentre que la banda dreta controla el motor dret.

Aquests cables no van directament al motor, com s'aprecia a la il·lustració passen per un mòdul (L298N) que s'encarrega de fer que funcionin els motors. Aquest mòdul s'alimenta amb un conjunt de piles d'1,5 V que en total subministren 6 V.

## 8. Programa

### 8.1. Moviment motors

Depenent de quina pota s'activi, és a dir, quina pota detecti que circula corrent degut al receptor d'infrarojos, el vehicle podrà fer diferents accions:

*Taula 3. Possibilitats en la recepció d'infrarojos i acció corresponent*

Moviment					
Frontal	45° esquerra	90° esquerra	45° dreta	90° dreta	Esdeveniment
1	0	0	0	0	Endavant
1	1	0	0	0	Gir lleuger esquerra
1	0	0	1	0	Gir lleuger dreta
0	1	0	0	0	Gir esquerra
0	1	1	0	0	Gir esquerra
0	0	1	0	0	Gir esquerra
0	0	0	1	0	Gir dreta
0	0	0	1	1	Gir dreta
0	0	0	0	1	Gir dreta
0	0	0	0	0	Quiet
Altres casos					Quiet

Entenent cada 1 com que el microcontrolador detecta com entrada activada.

El gir sense més indicacions implica que el vehicle gira sobre ell mateix, pròpiament dit, té el centre instantani de rotació al mig de la línia que uneix les dues rodes.

El gir lleuger implica que el vehicle gira però en aquest cas té el centre instantani de rotació a la mateixa línia que uneix les dues rodes però fora del vehicle, això implica que les dues rodes giren cap endavant però una gira més que l'altra.

Si no detecta senyal el vehicle s'atura.

Pel que fa als altres casos, el vehicle es queda quiet perquè són opcions irrealment per al seguiment d'un sol senyal d'infrarojos, no pot ser que el vehicle rebi senyal de dues bandes diferents, i si és així aquest hauria d'aturar-se perquè no és coherent que rebi senyal.

Per moure el motor esquerra el microcontrolador utilitza les potes 8, 9 i 10 (vegeu il·lustració 1), que corresponen a RC6 RC7 i RB7 respectivament. La pota RC7 és l'encarregada de la velocitat de gir del motor, és la sortida del PWM del motor esquerra. Les potes RC6 i RB7 determinen el gir, quan RC6 és 1 i RB7 és 0 la roda gira cap endavant, contràriament quan RC6 és 0 i RB7 és 1 la roda gira cap enrere.

Per moure el motor dret el microcontrolador utilitza les potes 11, 12 i 13 (vegeu il·lustració 1), que corresponen a RB6, RB5 i RB4 respectivament. La pota RB5 és l'encarregada de la velocitat de gir del motor, per tant és la sortida del PWM del motor dret. Les potes RB4 i RB6 determinen el sentit de gir, quan RB4 és 1 i RB6 és 0 el motor gira cap endavant, quan RB4 és 0 i RB6 és 1 el motor gira cap enrere.

## **8.2. Emissor infraroig**

En el prototip, l'emissor emet un senyal constant i per tant no necessita un programa específic. Simplement amb una pila ja pot funcionar correctament.

## **8.3. Receptor infraroig**

Periòdicament al bucle principal del programa es llegeixen les diferents potes que funcionen com entrades del microcontrolador, quan circula corrent per un receptor s'activa una pota. Depenent de les potes que estiguin activades el vehicle realitzarà una funció o una altra (Taula 3). Per als receptors d'infrarojos s'utilitzen les potes 2, 3, 4, 18 i 19 que corresponen a RA5, RA4, RA3, RA1 i RA0 respectivament. La pota RA5 s'utilitza per al receptor frontal, les potes 3 i 4 són per als receptors del costat esquerra i les potes 18 i 19 per als receptors del costat dret.

#### 8.4. Detecció ultrasons

El bucle principal del programa es repeteix cada poc més de 100 ms, en aquest s'emet un senyal d'ultrasons durant 12  $\mu$ s i el sensor d'ultrasons es posa en mode detecció.

El sensor detecta o no el senyal d'ultrasons, si en detecta avisa al microcontrolador enviant un senyal amb la seva pota *Echo*. El microcontrolador distingeix que és el senyal d'ultrasons mitjançant la interrupció RABIF. Un cop detectat el senyal es tracta en el programa, utilitzant el Timer1 es calcula el temps que ha tardat el senyal en retornar al sensor d'ultrasons, això dóna una estimació de la distància a la que es troba l'obstacle. Per qüestions de seguretat s'ha programat de tal manera que a partir de la distància d'onze centímetres o menys el vehicle s'atura.

## 9. Muntatge

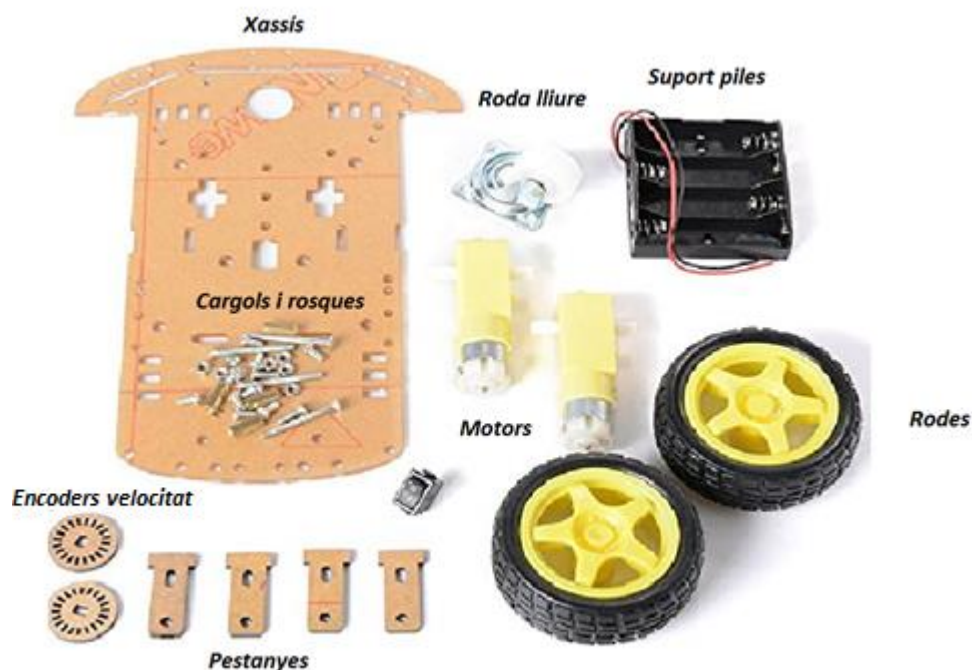
Per muntar tant el prototip del comandament com el vehicle s'ha hagut de fer seguint uns passos específics. Primerament s'ha muntat l'estructura amb els components mecànics, sempre tenint en compte que després s'haurà d'incorporar el circuit sobre un protoboard i alguns elements de protecció d'aquest entre altres components.

### 9.1 Comandament

El comandament del prototip s'ha muntat directament sobre un protoboard juntament amb la pila. El resultat és el mateix que en la il·lustració 23.

### 9.2 Vehicle

El vehicle té dues parts clares per al seu muntatge, es comença per la seva estructura mecànica que inclou xassís, motors, rodes i elements per ajuntar-ho (il·lustració 25).

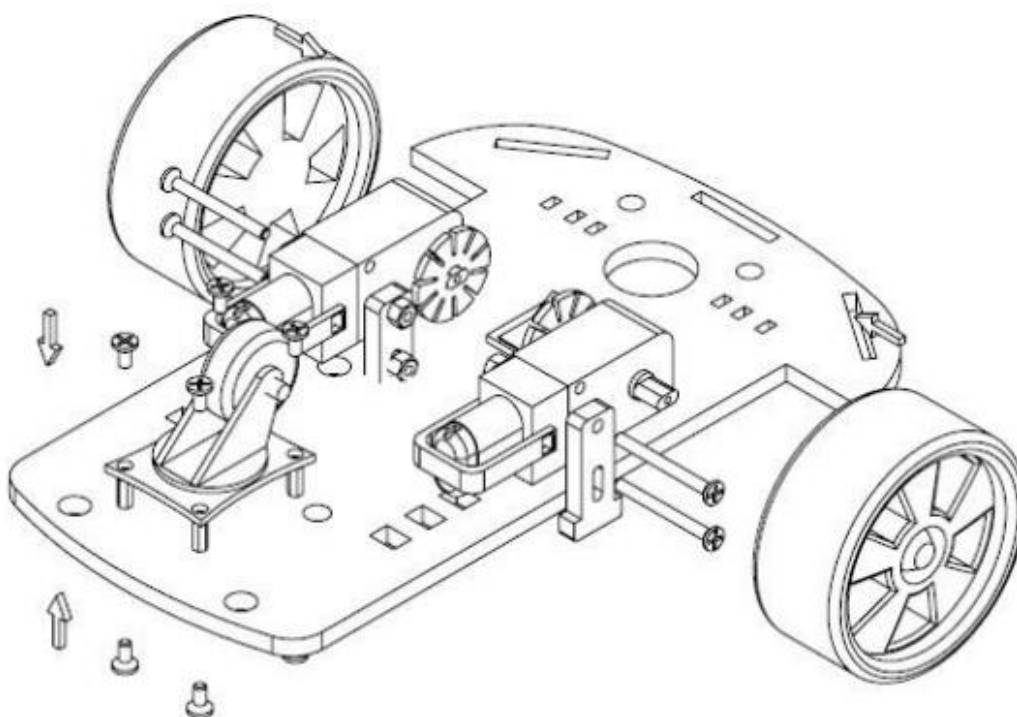


*Il·lustració 25. Components mecànics del vehicle [Amazon]*

És un procés senzill on, mitjançant cargols i femelles, s'uneixen el xassís i la roda lliure tenint en compte que ha de quedar a la mateixa alçada que les rodes motrius.

Seguidament amb l'ajuda de les pestanyes i els cargols més llargs s'uneixen els motors, han de quedar ben collats ja que s'ha d'evitar el màxim possible les vibracions i moviments per mala unió ja que el programa té calculat amb relativa precisió el gir del vehicle al detectar infrarojos.

Un cop muntat tot això a la part superior del vehicle s'uneix el suport de les piles amb el xassís deixant espai per al protoboard, que portarà el circuit electrònic.



*Il·lustració 26. Demostració de la col·locació i unió dels diferents elements per la part de sota del vehicle*

*[Rodríguez]*

A continuació s'incorpora el protoboard a la part superior del xassís de manera que quedi encaixat i no es mogui.

També es col·loca la pila de 9 V al xassís, aquesta és la que alimentarà el microcontrolador.



## 10. Pressupost

És important tenir en compte el preu del prototip per fer-se una idea de quant podria costar un model definitiu si aquest ha de ser comercialitzat. S'ha de vigilar que sigui viable econòmicament ja que sinó el projecte no seria assequible per a la majoria dels usuaris interessats.

La Taula 4 mostra els components amb el seu preu.

*Taula 4. Cost dels materials del prototip*

Material			
Unitats	Producte	Preu/unitat (€)	Preu total (€)
1	Xassís, motors, rodes i suport piles 1,5 V	11,99	11,99
1	PIC16F690	5,18	5,18
1	HC-SR04	1,25	1,25
5	Fototransistor L53P3C	0,35	1,75
1	Emissor infrarojos	0,36	0,36
1	Transistor 2N3904	0,07	0,07
2	Regulador de tensió 7805	0,25	0,50
1	Mòdul L298N	18,03	18,03
5	Resistències 10 MΩ	0,036	0,18
5	Resistències 150 Ω	0,06	0,30
1	Resistència 470 Ω	0,04	0,04
1	Resistència 560 Ω	0,04	0,04
2	Sòcol per a PIC16F690	0,375	0,75
IVA inclòs			
Preu total del material			40,34

No es pot deixar de banda el cost de mà d'obra per a la investigació, disseny i desenvolupament d'aquest projecte. Es parteix de la base d'un salari mitjà d'un enginyer tècnic junior. Fent un recull de les hores implicades en el projecte el resultat seria el següent:

*Taula 5. Cost de mà d'obra del projecte*

Mà d'obra			
Professió	Hores dedicades	Preu/hora (€/h)	Cost total (€)
Enginyer tècnic junior	330	15	4950

Per tant, si s'ajunta el cost del prototip juntament amb les hores dedicades al projecte, el seu cost total és de 4990,34 €.

## 11. Futures millores

La majoria de projectes sempre tenen alguna cosa que es pot millorar, aquest òbviament també. Al ser un prototip i tenir una limitació de temps i recursos a dedicar-hi hi ha factors que podrien fer que el vehicle final funcionés millor i en diferents àmbits.

Començant per l'estudi de l'ergonomia del disseny, el vehicle està dissenyat per seguir un usuari per allà on camina. Per fer més còmode el transport del comandament i no estar pendent del vehicle es podria fer un sistema per lligar el comandament al turmell, a la cintura o al propi braç tenint en compte les dimensions del vehicle.

Per realitzar aquest carro i comandament definitius s'hauria de soldar tots els components del prototip i fer-ne un model més estètic amb una carcassa, i pel cas del comandament un model còmode per evitar molèsties a l'hora de portar-lo, també interessa que el comandament sigui lleuger i que el vehicle no carregui un pes excessiu, per tant fóra bo que es substituís les piles per petites bateries ja que així s'estalviaria tant pes com espai. També s'hauria de construir a gran escala per poder fer-ne un ús adequat per pesos majors.

S'observa que el prototip realitza moviments bruscos, això és per dos motius diferents, un és per falta de pes, els motors donen una potència elevada, i l'altre és per la programació de la velocitat dels motors, aquesta pot ser massa elevada, però s'ha programat així perquè el model pugui seguir un usuari a una velocitat relativament comuna.

La roda auxiliar és només funcional en superfícies llises, si es volgués treballar en un altre tipus de superfície s'hauria de fer amb quatre rodes de tracció. Això només implicaria canviar la programació de control dels motors.

Si s'afegís un mètode per determinar la distància entre el vehicle i l'usuari es podria ajustar la velocitat del vehicle en temps real i de manera coherent, fent que com més separats estiguessin la velocitat del vehicle seria més gran per atrapar a l'usuari, i com més propers estiguessin la velocitat del vehicle seria més baixa per donar un marge a l'usuari per recuperar una distància estàndard.

La idea principal d'aquest projecte és fer un carro capaç de transportar material amb un determinat pes, les dimensions del prototip permeten transportar objectes lleugers, si es donés el cas de transportar quelcom més pesat, com ara una compra de supermercat o material d'obra, el vehicle hauria de ser de dimensions més grans.

Per fer això el programa és el mateix vigilant la potència dels motors per la seva velocitat de gir, per això faltaria una alimentació més potent. Tot i així s'hauria d'intentar ampliar el rang de detecció de la llum infraroja o substituir aquest sistema, també hauria de ser un vehicle més robust, i al carregar pes estaria bé posar-li unes suspensions a les rodes per esmorteir els cops per les irregularitats del paviment. Bàsicament s'hauria de fer el mateix però a gran escala, tot deixant un espai on poder deixar objectes per carregar.

Una possible substitució de detecció de la posició relativa vehicle-usuari seria utilitzant algun tipus d'intel·ligència artificial que ho fes.

## 12. Impacte social

Si es fa la suposició de que aquest sistema de transport d'objectes s'incorporés a la societat d'avui en dia, es pot veure en alguns casos que això tindria un cert impacte social.

Com a impacte social positiu es té que, al cap i a la fi, és un projecte altruista que serveix per ajudar a transportar materials que un usuari no podria pel seu compte. Això implica una millora de la qualitat de vida de les persones que ho necessiten, com per exemple una persona gran per portar una compra, o un treballador que ha de transportar material pesat podria evitar lesions per transport d'aquests materials, i també estalviaria temps de feina, cosa que augmenta la productivitat i això interessa a les empreses.

Per altra banda, ningú està acostumat a que darrere d'una persona hi hagi un vehicle seguint-lo a una certa distància, això implicaria algunes incerteses en les persones.

Exemplificant amb un cas ben senzill, un conductor de cotxe pot veure una persona travessar el carrer tranquil·lament i just quan ha travessat l'instint del conductor és d'arrencar, però si es donés el cas de que la persona que travessa té un vehicle darrere seguint-la i el conductor no ho sap podria provocar algun accident.

Un altre exemple, si moltes persones ho utilitzessin en grans ciutats, on el nombre de vianants per metre quadrat és elevat, suposaria una ocupació de l'espai dels propis vianants i s'hauria de vigilar de no xocar uns amb els altres, apart que suposant que el vehicle tingués un sistema de seguretat per no xocar amb vianants aquest podria inclús no moure's del gran nombre de vianants al voltant. També pot ser que el propi vehicle no detecti l'usuari que ha de seguir i això provoqui problemes de pèrdues de vehicles.

## Conclusions

S'ha aconseguit assolir la majoria dels objectius marcats a l'inici del projecte, s'ha dissenyat, construït i programat un vehicle capaç de seguir un usuari tot evitant obstacles frontals que es pot trobar durant la seva trajectòria. Per fer-ho possible s'ha hagut d'estudiar el funcionament dels components electrònics i s'ha experimentat amb alguns d'aquests, també s'ha aplicat conceptes apresos en el grau com per exemple els d'electrònica. Combinant tots aquests coneixements s'ha obtingut un prototip que fa la funció desitjada.

Aquest projecte ha servit com una clara a referència de la feina i esforç que implica realitzar un projecte d'aquestes dimensions, malgrat tots els inconvenients durant el desenvolupament del prototip s'ha pogut trobar sempre una solució alternativa que permetés obtenir el mateix resultat.

S'ha vist que per la utilització de microcontroladors PIC s'ha de tenir clar quin microcontrolador fer servir i s'ha de conèixer prou bé el seu funcionament, ja que si no es té molt clara la seva estructura i el funcionament dels seus registres es poden tenir problemes que a priori no ho semblen i són difícils de detectar.

És un projecte ambiciós on si s'aprofundís i es desenvolupés en un grup de treball amb bons coneixements de programació i d'electrònica es podria obtenir un resultat realment útil i funcional per poder introduir-lo al mercat.

## Agraïments

Agraïments especialment al tutor d'aquest treball Oriol Boix, professor de l'ETSEIB, per donar tota l'ajuda necessària per la realització d'aquest projecte, sempre ha estat disponible i s'ha implicat en resoldre tots els dubtes i imprevistos que han anat sorgint al llarg d'aquest temps. També s'agraeix les eines de programació que ha deixat per poder programar el prototip, per donar consells sobre la utilització d'aquests i per deixar fer proves dels dispositius electrònics utilitzats amb el seu oscil·loscopi, gràcies a ell s'ha pogut realitzar el projecte en el termini previst.

## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

1. **Tom Igoe.** Making things talk, [En línia] [Consulta: 17 / Maig / 2017]

[http://www.proalias.com/books/Making\\_Things\\_Talk\\_Second\\_Edition.pdf](http://www.proalias.com/books/Making_Things_Talk_Second_Edition.pdf)

2. **John Boxall. 2014.** Tutorial – L298N Dual Motor Controller Module 2A and Arduino, [En línia] [Consulta: 6 / Març / 2018]

<https://tronixlabs.com.au/news/tutorial-l298n-dual-motor-controller-module-2a-and-arduino>

3. **Jennifer Rodríguez. 2015.** Diseño y construcción de un coche teledirigido basado en la plataforma Arduino [En línia] [Consulta: 28 / Març / 2018]

<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4556/pfc6094.pdf;jsessionid=2BFC82EE1AB96D4A9D6E9D6E0596D578?sequence=1>



## Bibliografia complementària

4. **Oriol Boix.** Programació en C del PIC 16F690 amb PICKit 2 [En línia] [Consulta: 14 / Setembre / 2017]

<https://recursos.citcea.upc.edu/pic16c/tutor/>

5. **Radu Motisan. 2013.** Building a robot – Make the robot follow you, *PocketMagic*, *where Technology meets magic* [En línia] [Consulta: 3 / Juny / 2017]

<https://www.pocketmagic.net/make-the-robot-follow-you/>

6. **Sparkfun.** IR communication, [En línia] [Consulta: 5 / Gener / 2018]

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/ir-communication>

7. **Sparkfun.** Pulse Width Modulation, [En línia] [Consulta: 8 / Març / 2018]

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/pulse-width-modulation>

8. **Ligo George. 2014.** Generating PWM with PIC Microcontroller – MPLAB XC8, *Tutorial Pulse Width Modulation* [En línia] [Consulta: 8 / Març / 2018]

<https://electrosome.com/pwm-pic-microcontroller-mplab-xc8/>

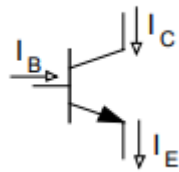
9. **Universitat de Vigo (UdV).** El transistor bipolar, [En línia] [Consulta: 25 / Gener / 2018]

<http://mdgomez.webs.uvigo.es/DEI/Guias/tema5.pdf>

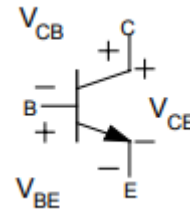
## ANNEXOS

### Annex A. Càlcul de la resistència de l'emissor d'infrarojos

Es necessita un corrent de 50 mA perquè funcioni correctament, però el microcontrolador dóna una sortida de 20 mA, per això s'utilitza un transistor, específicament el L2N3904. Aquest és un transistor BJT amb les següents distribucions de corrent i tensió:



*Il·lustració annex 1. Corrents del transistor [UdV]*



*Il·lustració annex 2. Tensions del transistor [UdV]*

A partir d'aquí, aplicant les lleis de Kirchhoff:

$$I_E + I_B + I_C = 0 \quad (I)$$

En els transistors bipolars es defineixen dos paràmetres per relacionar els seus corrents, aquests paràmetres són  $\alpha$  i  $\beta$ :

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (II)$$

Es poden relacionar  $\alpha$  i  $\beta$  de la següent manera:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

El transistor té tres règims de funcionament: tall, actiu o saturació.

En tall no pot funcionar ja que no circula corrent pels seus terminals, per tant interessa que el transistor estigui actiu o en saturació.

Quan aquest funciona en règim actiu es verifica que:

$$V_{BE} = V_{\gamma}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

En canvi, quan funciona en règim de saturació es verifica que:

$$V_{BE} = V_{BE_{sat}}$$

$$V_{CE} = V_{CE_{sat}}$$

Així doncs s'ha de calcular una resistència per fer que  $I_C$  sigui 50 mA.

Es comença suposant que el transistor funciona en saturació ja que circula corrent per les tres potes del transistor, en cas de descobrir que no és així es realitzarien uns altres càlculs.

Del full de característiques s'obté que el valor  $V_{CE}$  quan està en saturació és de 0,3 V.

$$V_C = V_{CE_{sat}} + I_C \cdot R_C \quad (III)$$

D'on substituint els valors que es tenen s'obté:

$$R_C = \frac{V_C - V_{CE_{sat}}}{I_C} = \frac{5 - 0,3}{0,05} = 94 \, \Omega$$

La resistència utilitzada és de 100  $\Omega$ , aquesta diferència és pràcticament insignificant ja que la intensitat passa de 50 mA a 47 mA.

A la pota de la base (B) s'utilitza una resistència de 1000  $\Omega$  per assegurar que el circuit estigui en saturació.

## Annex B. Fulls de característiques

1. **Kingbright**, Full de característiques del fototransistor d'infrarojos L-53P3C [En línia]  
<https://www.promelec.ru/pdf/L-53P3C.pdf>
2. **Siemens**, Full de característiques de l'emissor d'infrarojos LD271 [En línia]  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/45386/SIEMENS/LD271.html>
3. **Texas instruments**, Full de característiques del regulador de tensió LM7805 [En línia]  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>
4. **LRC**, Full de característiques del transistor L2N3904 [En línia]  
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/135338/LRC/L2N3904.html>
5. **Elec freaks**, Full de característiques del sensor d'ultrasons HC-SR04 [En línia]  
<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
6. **ST**, Full de característiques del mòdul L298N [En línia]  
[https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298\\_H\\_Bridge.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf)
7. **Microchip**, Full de característiques del microcontrolador PIC16F690 i la seva família de microcontroladors [En línia]  
<http://recursos.citcea.upc.edu/pic16c/pic16f690.pdf>
8. **Microchip**, Guia d'usuari de la placa del PICKit 2 [En línia]  
<http://recursos.citcea.upc.edu/pic16c/placa.pdf>
9. **Microchip**, Guia d'usuari del programador PICKit2 [En línia]  
<http://recursos.citcea.upc.edu/pic16c/PICKit2.pdf>

## Annex C. Programa del vehicle

/\*

Títol: Vehicle autònom capaç de seguir un usuari

Autor: Aniol Civit Bertran

Tutor: Oriol Boix Aragonès

Data: 24/04/2018

\*/

```
#pragma config FOSC = INTRCIO, WDTE = OFF, PWRTE = OFF, MCLRE = OFF, CP =  
OFF, CPD = OFF, BOREN = OFF, IESO = OFF, FCMEN = OFF
```

```
#include "pic16f690.h"
```

```
#include <xc.h>
```

```
#define _XTAL_FREQ 4000000
```

```
#define MOTE RB5 // pin MOTOR esquerra
```

```
#define In2 RB4 // pin motor esquerra
```

```
#define In1 RB6 // pin motor esquerra
```

```
#define MOTD RC7 // pin MOTOR dret
```

```
#define In3 RC6 // pin motor dret
```

```
#define In4 RB7 // pin motor dret
```

```
#define Trigger RC0 // Sortida ultrasons
```

```
#define Echo RA2 // Entrada ultrasons
```

```
// Funcions pel moviment del vehicle
```

```
void Esquerra();
```

```
void Dreta();
```

```
void Endavant();
```

```
void Quiet();
```

```
void RectificatEsquerra();
```

```
void RectificatDreta();
```

```
//Variables pel PWM programat
```

```
char compte=0; // comptador funció motor; CHAR= 1 byte
```

```
char amplepols1; // amplada motor esquerra
```

```
char amplepols2; // amplada motor dret
```

```
// Variable per aturar el cotxe per proximitat a un obstacle  
bit atura;
```

```
void main (void) {
```

```
    // Configuració dels ports
```

```
    TRISA = 0b11111111;
```

```
    TRISB = 0b00000000;
```

```
    TRISC = 0b00000000;
```

```
    ANSEL = 0x00; // digital
```

```
    ANSELH = 0x00; // digital
```

```
    // CONFIGURACIÓ Interrupcions, Timer0, Timer1 i inicialització de variables
```

```
    INTCONbits.T0IE = 1; // bit interrupció Timer0
```

```
    INTCONbits.GIE = 1; // Habilem les interrupcions a nivell general
```

```
    OPTION_REG = 0b10000110; // Configuració de Timer0
```

```
    INTCONbits.RABIE = 1;
```

```
    IOCAbits.IOCA2=1;    // Entrada dels ultrasons
```

```
    MOTE=0;
```

```
    MOTD=0;
```

```
    amplepols1 = 0;
```

```
    amplepols2 = 0;
```

```
    atura = 0;
```

```
    T1CON = 0b00110001; //habilita timer1, fosc/4, prescalador de 1/8
```

```
while (1)                // Inici del bucle de programa
{

    //S'envia Senyal d'ultrasons a l'inici del bucle
    Trigger = 1;
    __delay_us(12);
    Trigger = 0;
    TMR1 = 0;
    __delay_ms(3);

    if (atura == 1){
        Quiet();
    }
    else
    {
        // Mira quins receptors d'infrarojos detecten senyal
        if (PORTAbits.RA5 == 1 && PORTAbits.RA4 == 0 && PORTAbits.RA0 == 0 &&
PORTAbits.RA3 == 0 && PORTAbits.RA0 == 0)
        {
            Endavant();
        }
        else if ((PORTAbits.RA5 == 0 && PORTAbits.RA4 == 1 && PORTAbits.RA0 ==
0 && PORTAbits.RA1 == 0) || PORTAbits.RA3 == 1 )
        {
            Esquerra();
        }
        else if ((PORTAbits.RA5 == 0 && PORTAbits.RA4 == 0 && PORTAbits.RA0 ==
1 && PORTAbits.RA3 == 0) || PORTAbits.RA1 == 1)
        {
            Dreta();
        }
        else if (PORTAbits.RA5 == 1 && PORTAbits.RA4 == 1 && PORTAbits.RA0 ==
0 && PORTAbits.RA3 == 0 && PORTAbits.RA1 == 0)
        {

```

```
        RectificatEsquerra();
    }
    else if (PORTAbits.RA5 == 1 && PORTAbits.RA4 == 0 && PORTAbits.RA0 ==
1 && PORTAbits.RA3 == 0 && PORTAbits.RA1 == 0)
    {
        RectificatDreta();
    }
    else{
        Quiet();
    }

}

__delay_ms(200);
}
}

void interrupt Interrupcion() //Funció que atèn les interrupcions
{
    INTCONbits.GIE = 0; // DesHabilitem les interrupcions a nivell general

    // INTERRUPCIONS PER TIMER0 per al PWM programat

    if (INTCONbits.T0IF) // Interrupció del TMR0 cada 93 us
    {
        compte++; // S 'incrementa compte
        if (compte == amplepols1+1) //Quan l'incrementador compte sigui igual a amplepols + 1
        {
            MOTE = 0;
        }
        if (compte == amplepols2 + 1) //Quan l'incrementador compte sigui igual a amplepols + 1
        {
            MOTD = 0; // El senyal del motor passa a ser 0
        }
        if (compte==100) //quan arriba al final del període, inicialitzem el PWM
```



```
{
    compte=0;
    MOTE = 1;
    MOTD = 1;
}
TMR0 = 240;
INTCONbits.TOIF=0;
}

//Interrupcions pel sensor d'ultrasons

if (INTCONbits.RABIF) // Interrupció PORTA/PORTB
{

    if (Echo == 1)
    {
        TMR1 = 0;
        atura = 0;
    }

    else
    {
        if(TMR1<80) // Si està a una distància més petita de 11,5 cm aproximadament
        {
            atura = 1;
        }

        else {
            atura = 0;
        }
    }

    INTCONbits.RABIF=0; // descativa interrupció PORTA/PORTB
}

INTCONbits.GIE = 1; // Habilitem les interrupcions a nivell general
}
```

// Funcions per al moviment del motor, configuració de les sortides del PWM programat i del sentit de gir dels motors.

// IN1 i IN2 corresponen al motor dret

// IN3 i IN4 corresponen al motor esquerra

// IN1 i IN3 = 1 per tirar endavant.

```
void Dreta(void){
```

```
    In1 = 0;
```

```
    In2 = 1;
```

```
    amplepols1 = 30;
```

```
    In3 = 1;
```

```
    In4 = 0;
```

```
    amplepols2 = 30;
```

```
}
```

```
void Esquerra(void){
```

```
    In1 = 1;
```

```
    In2 = 0;
```

```
    amplepols1 = 30;
```

```
    In3 = 0;
```

```
    In4 = 1;
```

```
    amplepols2 = 30;
```

```
}
```

```
void Endavant(void){
```

```
    In1 = 1;
```

```
    In2 = 0;
```

```
amplepols1 = 50;

In3 = 1;
In4 = 0;
amplepols2 = 50;
}

void Quiet(void){
    In1 = 0;
    In2 = 0;
    amplepols1 = 0;

    In3 = 0;
    In4 = 0;
    amplepols2 = 0;
}

void RectificatDreta(void){
    In1 = 0;
    In2 = 0;
    amplepols1 = 0;

    In3 = 1;
    In4 = 0;
    amplepols2 = 70;
}

void RectificatEsquerra(void){
    In1 = 1;
    In2 = 0;
    amplepols1 = 70;

    In3 = 0;
    In4 = 0;
    amplepols2 = 0;
}
```